

КАМЧАТСКИЙ ОТДЕЛ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА СССР

В. Н. ВИНОГРАДОВ, Б. В. ИВАНОВ, А. М. ЧИРКОВ

ПРОРЫВ ПОБОЧНЫХ КРАТЕРОВ В ТОЛЩЕ ЛЕДНИКА
КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА В 1974 ГОДУ

Ключевская группа вулканов является одним из крупнейших ледниковых районов Камчатки. Особенно поражают своими размерами и имеют разнообразные морфологические типы ледники на вулканах Ключевском, Камне, Ближнем Плоском и Дальнем Плоском. Наряду с ледниковыми языками, спускающимися до высоты 900—1000 м, верхние части вулканов одеты в ледниковые панцири (вулканы Ключевской, Камень) или имеются обширные кальдеры, заполненные льдом, которые являются областями питания сложных кальдерно-долинных ледников (вулкан Дальний Плоский).

Характерной особенностью деятельности Ключевского вулкана является образование побочных кратеров и излияние из них лавовых потоков на склонах вулкана. В известной сводке о Ключевской сопке Б. И. Пийп (1956) приводит фактические данные об извержении вулкана с 1697 по 1945 год. Известные побочные извержения происходили вне ледников и только верхние воронки прорыва Б. И. Пийпа в 1966 г. вскрыли многометровую толщу льда, погребенного под пирокластическим чехлом склонов Ключевского вулкана (Кирсанов, 1967). Однако лавовый поток излился на отдаленном контакте с ледником, и тот слабо испытал его воздействие.

Извержение вулканско-стромболианского типа из вершинного кратера, начавшееся в марте 1972 г., продолжалось в 1973—74 гг. В начале апреля 1974 г. вулкан резко активизировался. Почти постоянно были слышны звуки взрывов, а ночью видно, как из кратера выбрасывались раскаленные обломки лавы на высоту 200—300 м. В это же время отмечалось усиление сейсмической активности вулкана. С 6 по 13 апреля зафиксировано около 150 землетрясений 5—10 энергетических классов и множество более слабых. Эпицентральная область роя землетрясений располагалась на северо-восточном склоне вулкана, на высоте порядка 3000 м. Землетрясения происходили на фоне спада и полного прекращения вулканического дрожания, что характерно для периода, предшествующего прорыву побочных кратеров. Однако ожидаемое побочное извержение в данной эпицентральной области не состоялось, очевидно, магма здесь не пробилась к поверхности. В сейсмической и эруптивной деятельности вулкана наступил некоторый спад. В мае отмечалось лишь несколько кратковременных всплесков активности. 18-го мая впервые наблюдалось фонтанирование лавы из вершинного кратера. Вероятно, в это время начался рост внутрикратерного шлакового конуса, высота которого к середине августа достигла 100—150 м.

С 14 по 20 августа сейсмостанциями был зарегистрирован новый рой землетрясений с эпицентрами на юго-западном склоне вулкана. В этот период опять наблюдалось затухание вулканического дрожания. Хотя этот рой по количеству землетрясений и выделенной энергии был значительно слабее апрельского, сейсмологи Ключевской вулканостан-

ции (В. И. Горельчик) высказали предположение о возможности в скором времени прорыва здесь побочного кратера.

23-го августа в 3 часа по Гринвичу на сейсмограммах появились записи взрывных землетрясений и вулканического дрожания — началось побочное извержение. Прорыв новых побочных кратеров, названный в честь состоявшегося на Камчатке IV Всесоюзного вулканологического совещания «прорывом Совещания», произошел на юго-западном склоне вулкана, в истоках ледника Богдановича, близ перевала между Ключевской и Камнем (рис. 1). На трещине протяженностью 400—500 м, образованной на склоне Ключевского вулкана, расположена целая серия кратеров, которые условно можно объединить в два центра извержения. Верхний находится на высоте 3600 м и представляет собой воронку во льду размером 60—80 м, на дне которой наблюдается несколько взрывных кратеров. Несмотря на очень напряженную



Рис. 1. Схема прорыва побочных кратеров в толще ледника Ключевского вулкана в 1974 г. 1 — воронки прорыва и аккумулятивный конус; 2 — лавовый поток; 3 — ледниковые поля и ледники; 4 — водный поток в толще ледника Богдановича, возникший в результате таяния льда от соприкосновения с лавой; 5 — разрушенная часть ледника Богдановича; 6 — рабочие полевые лагеря; 7 — вулканические постройки.

эксплозивную деятельность, шлаковый конус вокруг этого центра не образуется из-за большой крутизны склона вулкана. К концу октября, т. е. через 2 месяца после начала извержения, во льду вокруг кратера сформировался лишь небольшой шлаковый вал высотой 15—20 м. В середине октября в 30—50 м выше этой воронки образовалось два новых взрывных кратера диаметром 7—10 м. Деятельность этой группы кратеров чисто eksploзивная переменной интенсивности. Хронологически она характеризуется следующим образом.

Таблица 1

Характер деятельности верхних кратеров

Период	Характер деятельности
23.VIII—7.IX	Частые взрывы (от 60—80 до 120 в мин.) с выбросами пепла на высоту до 1,5 км и раскаленных бомб на 100—150 м.
8.IX—10.IX	Пепловых взрывов не наблюдалось, выделялся только пар.
11.IX—16.IX	Не отмечалось никаких признаков деятельности.
17.IX—26.IX	Выбрасываются пепел и бомбы, редкие взрывы (от 1—2 сек. до 3—4 мин.), ночью видно свечение нижней части эруптивной тучи.
27.IX—3.X	Нет признаков деятельности.
4.X—11.X	Умеренное выделение пара без взрывов.
12.X—17.X	Пепловые выбросы с интервалом от секунд до минут.
18.X—2.XI	Слабое парение.

Нижний центр извержения находится на высоте около 3400 м и состоит из трех кратеров, расположенных по трещине протяженностью 130—150 м. Верхний из этих кратеров диаметром 3—5 м проявлял eksploзивно-эффузивную деятельность лишь несколько дней после начала извержения. В результате образовался шлаковый конус высотой 10—15 м и вытек небольшой лавовый поток длиной 70—80 м. В 100 м ниже по склону расположен второй кратер диаметром 7—10 м. Он характеризовался чисто eksploзивной, очень интенсивной деятельностью. Частота взрывов достигала 80—100 в мин., практически постоянно над кратером наблюдались лавовые фонтаны. Высота подъема вязких бомб колебалась в среднем в пределах 70—150 м. Вокруг кратера формировался шлаковый конус, высота которого к середине сентября составляла 50—60 м. К этому времени он слился с третьим нижним шлаковым конусом, а позднее был полностью им перекрыт, но кратер продолжал eksploзивную деятельность до начала октября и 3-го октября полностью затих.

Третий нижний кратер из этой группы наиболее активный и самый долгоживущий. По данным аэровизуальных наблюдений его напряженная eksploзивно-эффузивная деятельность к 20 декабря 1974 г. еще не закончилась. Выброшенные и вспененные куски лавы, спекаясь, быстро наращивали шлаковый конус. Высота его к середине сентября составляла 70—80 м, а к началу ноября достигла 120 м. На вершине конуса в чаше диаметром около 15 м и глубиной 8—10 (по крайней мере до начала ноября) наблюдалось лавовое озеро. С постоянно kloкочущей его поверхности вырывались лавовые фонтаны на высоту от 20 до 150—200 м. Фонтанирование происходило с той же примерно частотой, как из второго кратера (80—100 взрывов в мин.), но материала выбрасывалось больше раза в два.

Из лавового озера по руслу шириной около 10 м вытекал лавовый поток. Крутизна склона в этом месте составляла 25—30°, поэтому поток устремлялся вниз в виде лавопада на расстояние 120—150 м от кратера. Скорость течения лавы на лавопаде вначале составляла около

30—40 м/мин, впоследствии (с середины сентября) она возросла и устойчиво сохранялась на уровне 100—120 м/мин.

В первые же дни узкий лавовый поток пропилил во льду узкий (20—30 м) и глубокий каньон в направлении на юго-юго-запад. Примерно на расстоянии 500—600 м от истока, уткнувшись в склон вулкана Камень и испытывая резкое сопротивление ледника, поток круто развернулся на запад и двигался в этом направлении 300—400 м до тальвега долины, идущей от перевала между вулканами Ключевским и Камнем. Здесь он развернулся на юго-запад и пошел по тальвегу. К 6 сентября лавовый поток в виде узкой ломаной линии продвинулся в общей сложности на 1,5—1,6 км. Фронтальная часть потока в результате постоянного охлаждения и торможения тающим льдом дальнейшее продвижение постепенно замедлила и к 12—13 сентября практически остановилась на расстоянии 2—2,2 км от эффузивного кратера. В это время вновь поступающие из бокки порции лавы, доходя до первого резкого поворота, упорно вгрызались в ледник, стремясь срезать угол, оставшийся от предыдущего продвижения лавового потока. Но ледник поддавался очень медленно, и результатом всех титанических усилий лавы были лишь мощные фреатические взрывы и образование на повороте большого нагромождения крупных обломков лавы. Это нагромождение тоже явилось на пути лавы как бы плотиной, выше которой наступающая лава поднималась иногда из лавового каньона и заливалась в обе стороны на ледник подушками толщиной по 15—20 м.

В результате фреатических взрывов и протавивания льда под действием раскаленной лавы подушки быстро погружались в лед. Проплаывая себе путь сквозь нагромождения остывших обломков, лавовый поток резделялся на несколько рукавов, которые тоже в виде лавопавов устремлялись в разные стороны: одни пытались проплавить ледник, другие уходили на запад по ранее остывшим порциям. Такая деятельность второго лавопавда привела к тому, что в этом районе лавовый поток стал быстро расти в ширину за счет расширения на запад. Руслу рукавов потока постоянно мигрировали, поэтому при быстром росте лавового поля в ширину здесь наблюдалось сложное переслаивание порций лавы. Отмечались даже случаи, когда лавовые потоки, пересекаясь с более ранними, уже остывшими и остановившимися, «ныряли» под них и затем снова появлялись на поверхности. Вероятно, в то время, в сентябре, лава еще не проплавила ледник до основания. На тех участках, где фронты лавовых потоков или их рукавов соприкасались со стенками ледника, везде наблюдались мощные фреатические взрывы.

К концу сентября напор лавы на борта ледника ослаб. Непосредственно от эффузивного конуса она по прямой линии подо льдом двинулась к фронту начальных порций, остановившихся 12—13 сентября. В начале октября эта порция лавы достигла фронта, но дальше тоже не смогла продвинуться. 12 октября был отмечен мощный фреатический взрыв, в результате которого часть ледника протяженностью около 700 м, находившегося над потоком, вместе с обломками лавы взметнулась в воздух на высоту до 500—600 м. С северо-запада лавовое поле замкнулось в почти правильный овал, в центре которого остался медленно разрушающийся ледовый остров размером около 100—200 м. Общий размер лавового поля к концу октября составлял в длину около 2—2,5 км и в ширину 0,5—0,6 км (рис. 2). Мощность этого слоеного пирога неизвестна, т. к. неизвестна толщина ледника Богдановича. Однако визуальные наблюдения по склонам и днищу долины позволяют предполагать, что толщина ледника колеблется от 50 до 70 м.

Взаимодействие лавового потока и ледника впервые проявилось



Рис. 2. Прорыв побочных кратеров в толще ледника Ключевского вулкана.

при формировании нижнего конуса и в районе лавопада, вблизи от него, где поток, стремясь течь по прямой и ликвидировать угол, внедрялся в лед. В результате интенсивного таяния вверх поднимались столбы густого белого пара. Ниже фронта лавового потока в леднике талыми водами был образован глубокий каньон с вертикальными или расширяющимися книзу стенками. В каньоне с большой скоростью (до 10—15 м/сек) проносился водный поток шириной от 2 до 50 м, который нес в себе глыбы льда и камней. В 1 км ниже фронта лавового потока каньон расширился до 100 м в ширину, и на дне наблюдалось нагромождение глыб льда и обломков лавы с температурой до 350°C. В глыбах льда чередовались в различной последовательности параллельные полосы грязно-серого, прозрачно-серого и желтого цвета мощностью от 0,5 см с равномерно окрашенными обломками до 20—30 см в поперечнике.

Течение и уровень воды в потоке на всем протяжении от фронта лавового потока до абс. отм. 2100 м (лагерь 1) были неравномерны и подвержены суточным колебаниям, связанным с температурным режимом воздуха, интенсивностью извержения, количеством извергаемого материала и внутренним строением ледника, наличием пустот и трещин. Наряду с нормальным расходом, подверженным незначительным

колебаниям, в сентябре и октябре отмечалось прохождение валов воды, обломков льда и камней высотой до 1 м и кратковременное увеличение расхода в несколько раз (от 3 до 6) в течение 4—5 минут, после чего поток приобретал прежний вид. В результате прохождения таких паводков в русле оставались многочисленные глыбы льда и парящей лавы до 1 м в поперечнике.

На абс. высоте 2100, в 4 км ниже фронта лавового потока водным потоком была размыта правая часть ледника Богдановича и образована флювиогляциольная равнина шириной до 300 м и длиной до 500 м. По равнине поток разливался на несколько рукавов, и создавалось впечатление от ровной поверхности, что лед разрушен до основания. Поверхность равнины выстлана шлаком, камни и глыбы отсутствуют. Оставшаяся часть от ледника у лавового борта имеет высоту около 15 м и представлена холмистым рельефом, чередованием гребней и понижений между ними, прикрытых обломочным материалом. Поток на равнину вытекает из грота, образованного свалившейся глыбой льда до 10 м в поперечнике. Русло на выходе из грота шириной до 5 м имеет терраски высотой 10, 20, 50 см, положения более высокого стояния воды и большего расхода потока. На этом участке наглядно было видно, как потоком разрушается ледник. Здесь же были определены расходы ручья и взяты образцы льда и пробы воды на химический анализ.

Расход воды потока был измерен поплавковым методом на участке длиной 30 м. 18 и 19 октября 1974 г. В этот период сказывались зимние условия в районе извержения, и водный поток на ночь прекращался, не доходил до отм. 2100 м, а появлялся в первой половине дня. Расход был подвержен незначительным колебаниям, что видно из измеренных величин.

18 октября 1974	Q максимальный	— 6,2 м ³
	Q минимальный	— 4,8 м ³
	Q средний	— 5,9 м ³
19 октября 1974	Q максимальный	— 8,6 м ³
	Q минимальный	— 6,0 м ³
	Q средний	— 7,0 м ³

В табл. 2. приведен состав вод из реки, льда из ледника, отобранных в районе извержения за период с 2 по 27 октября 1974 г. Минерализация льда была низкой (14,7—17,0 мг/л), что в 5—6 раз меньше средней минерализации атмосферных осадков, выпадавших на территории Камчатки (Башарина, 1974). Лед ледника Богдановича имеет гидрокарбонатный состав, реакция раствора — нейтральная.

Воды реки также слабоминерализованы (до 488,4 мг/л), реакция раствора — близонейтральная. В литре потока воды содержалось до 250 г вулканического пепла. Если в начальный момент наблюдений 2—10 октября минерализация воды составляла 73,3 мг/л, то к концу наблюдений она увеличилась до 309,6 мг/л, т. е. почти в 4 раза. В начале наблюдений состав воды был гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевый, в конце он стал сульфатно-кальциевый. К концу наблюдений в водах потока заметно уменьшилось содержание хлорида. Резко увеличилась сумма катионов и среди них наиболее заметно — натрия и калия.

Ввиду непродолжительности наблюдений и отсутствия данных о составе летучих, выделившихся при извержении, трудно выявить причину такого изменения состава воды. Излияние лавового потока во время извержения Ключевского вулкана, как видно из табл. 2, слабо заражало талые воды растворимыми веществами. Например (Товаро-

ва, 1958), при таянии снега в районе пирокластического потока, образовавшегося при извержении другого типа — извержении вулкана Безымянного весной 1956 г. — возникали воды с очень высокой минерализацией (до 5496 мг/л). По-видимому, лавовые потоки в меньшей степени влияют на минерализацию талых вод, чем пирокластические потоки.

Особенностью извержения побочных кратеров в толще ледника является ограниченное распространение лавового потока на местности. Так, прорыв Б. И. Пийпа в 1966 г. извергался всего около 3 месяцев, и лавовый поток продвинулся на расстояние до 10 км, а прорыв IV Вулканологического совещания за 4 месяца — всего на 2 км. По составу излившийся и выброшенный взрывами материал прорыва является оливиносодержащим базальтом.

Таблица 2

Химический состав воды и льда
(аналитик С. В. Сергеева)

Компоненты	Проба и дата ее отбора													
	лед, 18.10		лед, 19.10		вода*, 10.09		вода, 02.10		вода, 18.10		вода, 19.10		вода, 27.10	
	мг/л	мг. экв/л	мг/л	мг. экв/л	мг/л	мг. экв/л	мг/л	мг. экв/л	мг/л	мг. экв/л	мг/л	мг. экв/л	мг/л	мг. экв/л
NH ₄ ⁺	0,1	0,01	0,1	0,01	1,8	0,10	0,3	0,02	0,1	0,01	0,1	0,01	0,4	0,02
Na ⁺	2,2	0,10	2,1	0,09	10,1	0,44	4,6	0,20	33,0	1,44	33,0	1,44	53,6	2,33
K ⁺	0,9	0,02	0,5	0,01	0,9	0,02	2,2	0,06	1,5	0,04	2,1	0,05	2,4	0,06
Ca ²⁺	1,0	0,05	1,0	0,05	20,0	1,00	17,0	0,85	97,0	4,84	97,0	4,84	83,0	4,14
Mg ²⁺	0,0	0,00	0,0	0,00	2,6	0,21	4,4	0,36	12,3	1,01	13,5	1,11	2,3	0,19
Fe ²⁺	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Fe ³⁺	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Сумма катионов	4,2	0,18	3,7	0,16	35,4	1,77	28,5	1,49	143,9	7,36	145,7	7,45	141,7	6,74
Cl ⁻	0,6	0,02	0,0	0,00	35,5	1,00	24,8	0,70	9,2	0,26	10,6	0,30	53,2	1,50
SO ₄ ²⁻	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,3	0,01	286,0	5,95	293,0	6,00	212,5	4,42
HCO ₃ ⁻	12,2	0,20	11,0	0,18	37,8	0,62	43,9	0,72	43,9	0,72	39,1	0,64	43,9	0,72
Сумма анионов	12,8	0,22	11,0	0,18	73,3	1,62	69,0	1,43	339,1	6,93	342,7	6,94	309,6	6,64
Общая минерализация	17,0		14,7		108,7		97,5		483,0		488,4		451,3	
pH	6,86		6,90		7,90		6,90		7,73		7,53		7,90	

* Проба взята на расстоянии 1 км от фронта лавового потока, остальные — на расстоянии 4 км.

ЛИТЕРАТУРА

- Баширина Л. А. Влияние вулканической деятельности на химический состав атмосферных осадков и воздух Камчатки. — Бюлл. вулканол. ст., № 50, 1974.
- Ермаков В. А., Трубицын С. М. Некоторые новые данные о строении конуса вулкана Ключевского и его кратера. В сб. Вопросы географии Камчатки, вып. 3, Петропавловск-Камчатский, 1965.
- Кирсанов И. Т. Прорыв побочных кратеров им. Б. И. Пийпа на Ключевском вулкане. В сб. Вопросы географии Камчатки, вып. 5, Петропавловск-Камчатский, 1967.
- Пийп Б. И. Ключевская сопка и ее извержения в 1944—45 гг. и в прошлом. Труды лабор. вулкан., вып. 11, М., 1956.
- Товарова И. И. О выносе воднорастворимых веществ из пирокластики вулкана Безымянного. — Геохимия, 1958, № 7, стр. 686—688.